BÉTON
solutions

Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages divers de Génie Civil

>>> Les nouveaux textes normatifs relatifs aux ouvrages en béton prennent en compte la durabilité, en s'appuyant sur la notion de classe d'exposition. Ces classes traduisent les actions dues à l'environnement auxquelles le béton et les armatures de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage vont être exposés pendant la durée de service de la structure.

Les classes d'exposition permettent ainsi d'optimiser la formulation des bétons et la conception des ouvrages en vue de leur durabilité.









→ Des classes d'exposition conformes à l'Eurocode et à la norme Béton NF EN 206-1

Depuis le 1er avril 2010, les Eurocodes s'imposent comme normes pour les calculs des structures, et en particulier pour les structures en béton. Ces normes de conception sont constituées du texte de la norme européenne et de l'Annexe Nationale correspondante, pour son application en France. Elles sont cohérentes avec l'application de la norme NF EN-206-1.

Pour assurer une durabilité satisfaisante des constructions, c'est aux maîtres d'ouvrage et à leurs maîtres d'œuvre de définir, dès le stade de conception, outre la durée d'utilisation de projet en cohérence avec les dispositions de la norme NF EN 1990, les classes d'exposition traduisant les attaques et risques de corrosion que subiront chaque partie d'ouvrage au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage.

Le présent document résulte du travail du groupe créé au sein de l'École Française du Béton afin de réaliser un guide pour aider les rédacteurs de cahiers des charges à choisir les classes d'exposition pour différentes catégories d'ouvrages ou de constructions.

Ouvrages visés

Les ouvrages de génie civil visés par les tableaux ci-après comprennent notamment les murs et ouvrages de soutènement, les ouvrages hydrauliques, les ouvrages de production d'énergie, et les silos et réservoirs. Les fondations de ces ouvrages peuvent notamment être constituées de pieux, de micro-pieux, de barrettes, de puits, de parois moulées ou de radiers.

La description des ouvrages ou parties d'ouvrage utilisée dans les tableaux ci-après ne préjuge pas de leur mode de réalisation (coulé en place ou préfabriqué).

Mode d'emploi des tableaux

L'aide au choix des classes d'exposition est déclinée, pour les classes d'exposition liées aux risques de carbonatation, agression par les chlorures, gel-dégel et attaques chimiques, en quatre tableaux 1 à 4 ci-après portant en lignes les parties d'ouvrages, et en colonnes les risques considérés, avec pour certains risques différents niveaux de sévérité correspondant à des sous-colonnes. Les parties d'ouvrages peuvent concerner non seulement des éléments ayant une cohérence constructive, mais également des parois et parties de parement cohérentes en termes d'exposition aux agressions extérieures.

Ces tableaux correspondent à quatre zones d'environnement (liées notamment à la localisation géographique de l'ouvrage) exclusives pour la France métropolitaine et la plupart des D.O.M. / T.O.M. La définition de ces zones fait référence en particulier à la clause 4.2 (2) de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1, en termes de distance à la côte et de sévérité du gel.

Pour les quelques territoires soumis à la fois à un environnement maritime et au gel sévère il convient d'utiliser les indications des tableaux 1 ou 2 liés à l'environnement maritime pour les classes d'exposition XC et XS, et celles du tableau 4 lié à l'environnement en zone de gel sévère pour les autres classes, notamment XD et XF.

Dans l'aide au choix des classes d'exposition vis-à-vis du gel (XF), il est tenu compte des interprétations actualisées de la norme NF EN 206-1 en cours d'harmonisation avec les autres textes. La profondeur des parties enterrées concernées par le gel est à étudier spécifiquement en cas de gel sévère.

Note : Dans ces tableaux le tiret "-" indique que l'agression en question n'est pas à prendre en compte pour la partie d'ouvrage considérée.

Salage et exposition aux chlorures autres que marins

En application de la clause 4.2 (2) de l'annexe nationale de la norme NF EN 1992-1-1 (notes 4 et 6) le choix de la classe XD1, XD2 ou XD3 se réfère non seulement à l'effet aggravant des cycles d'humidification / séchage, selon les indications du tableau 4.1 de la norme NF EN 1992-1-1, mais également à la fréquence de salage des chaussées voisines des ouvrages, voire au salage des ouvrages eux-mêmes. Le salage est considéré comme "peu fréquent" lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, "très fréquent" lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et "fréquent" entre ces deux cas. Par analogie avec les dispositions issues de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-2 les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée peuvent être considérées comme exposées ou très exposées aux projections de sels de déverglaçage, selon la fréquence du salage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties d'ouvrages peuvent ne pas être exposées aux effets du salage, on considèrera alors pour ces parties d'ouvrages la colonne "salage peu fréquent".

Par ailleurs, indépendamment du salage induit par l'exploitation routière, le risque de corrosion provoquée par les chlorures autres que ceux provenant de l'eau de mer peut également, particulièrement pour les ouvrages visés par les présents tableaux, être induit par la destination de ces ouvrages et leur exploitation : rétention de liquides chlorés, nettoyage avec javellisation, contact avec des sels chlorurés, etc.

Précision importante

Dans tous les tableaux qui suivent les classes indiquées ne tiennent pas compte des défauts d'entretien quelquefois constatés. Il est rappelé notamment que l'évacuation des eaux doit être bien conçue et entretenue durant toute la durée d'utilisation de l'ouvrage, et que le défaut d'entretien ne doit pas être pris en compte à la conception, par exemple en surclassant le niveau d'agressivité de l'environnement.

Attaque chimique par l'eau de mer

En France, pour éviter l'attaque chimique du matériau béton dans le cas particulier de l'exposition à l'eau de mer, il est admis par le fascicule FDP 18-011, appelé par la norme NF EN 206-1, d'appliquer les prescriptions de composition de la classe XS1 (parties exposées à l'air véhiculant du sel marin et, par interprétation de la norme, à l'infiltration des chlorures marins pour les parties enterrées), XS2 (béton immergé en permanence) ou XS3 (béton en zone de marnage et d'exposition aux embruns) des tableaux NAF 1 ou NAF 2 de la norme NF EN 206-1, que l'élément de béton soit armé ou non, et non les prescriptions de composition de la classe XA3 qui résulteraient de l'application du tableau 2 de la norme NF EN 206-1. Pour le cas d'ouvrages au contact d'eau de mer polluée ou mélangée à d'autres eaux de surface, par exemple, une analyse est à effectuer au cas par cas vis-à-vis des attaques chimiques possibles.

Tableau 1 - Ouvrages de génie civil situés en mer, ou à moins de 100 m de la côte

(ou jusqu'à 500 m de la côte, suivant la topographie particulière, lorsque les parties aériennes sont soumises à un risque d'exposition aux embruns)

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD		XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, MICRO-PIEUX, BARRETTES, PUITS, PAROIS MOULÉES, RADIERS) D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS							
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau de mer ou saumâtre	XC1	XS2	-	-	-	-	selon pollution de l'eau de mer
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau douce	XC1	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau de mer ou saumâtre) **	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau douce) **	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties enterrées ou faces en contact avec le sol	XC2	XS1****	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types, parties aériennes	XC4	XS3	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
SUPERSTRUCTURES D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS							
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau de mer ou saumâtre	XC1	XS2	-	-	-	-	selon pollution de l'eau de mer
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau douce	XC1	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec d'autres liquides	XC1	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	-	-	selon liquides concernés
Parties ou parois en zone de marnage, ou exposées à des écoulements d'eau de mer ou saumâtre **	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon pollution de l'eau de mer
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XC4	XS3	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XF1	XF1	selon liquide concerné
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau de mer ou saumâtre **	XC4	XS3	-	-	-	-	selon pollution de l'eau de mer
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XC4	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XC3	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	-	-	selon liquide concerné
Parties ou parois enterrées ou en contact avec le sol	XC2	XS1****	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	-	-	selon analyse sol et eau
Parties ou parois à l'air libre, exposées aux intempéries	XC4	XS3	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois à l'air libre, protégées des intempéries	XC3	XS3	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois intérieures, protégées des intempéries et des condensations	XC1	-	-	-	-	-	-
Parties ou parois intérieures humides avec risque de condensations	XC3	-	-	-	-	-	selon risque de condensation
AUTRES OUVRAGES PARTICULIERS							
Regards et boîtes de branchement ou d'inspection coulés en place	XC4	XS3	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ***	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau
Caniveaux hydrauliques coulés en place	XC4	XS3	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ***	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau



Y compris Antilles et DOM-TOM.

* Le salage est considéré comme "peu fréquent" lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, "très fréquent" lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et "fréquent" entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne "salage peu fréquent".

** Risque d'exposition à l'abrasion à considérer.

*** Pour ces ouvrages de durée d'utilisation de projet souvent inférieure à 50 ans on admet en France que la classe XD ne concerne que l'enrobage, les classes XF2 et XF4 couvrant les exigences liées au matériau dues à la présence des sels de déverglaçage.

**** XS1 correspond ici à un risque de ruissellement et d'infiltration de chlorures marins pour les parties enterrées. Ceci constitue une interprétation de la norme cohérente avec les pratiques actuelles pour les parties de bâtiment.

Tableau 2 - Ouvrages de génie civil situés à moins de 1 km de la côte

(ou jusqu'à 5 km de la côte, suivant la topographie particulière) lorsque les parties aériennes de ces ouvrages sont exposées à un air véhiculant du sel marin, mais pas directement aux embruns

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD		XF		XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, MICRO-PIEUX, BARRETTES, PUITS, PAROIS MOULÉES, RADIERS) D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS							
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau de mer ou saumâtre	XC1	XS2	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau douce	XC1	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau de mer ou saumâtre) **	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau douce) **	XC4	XS1	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties enterrées ou faces en contact avec le sol	XC2	-	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types, parties aériennes	XC4	XS1	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
SUPERSTRUCTURES D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS							
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau de mer ou saumâtre	XC1	XS2	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau douce	XC1	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec d'autres liquides	XC1	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	-	-	selon liquides concernés
Parties ou parois en zone de marnage, ou exposées à des écoulements d'eau de mer ou saumâtre **	XC4	XS3	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XC4	XS1	-	-	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XC4	XS1	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XF1	XF1	selon liquides concernés
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau de mer ou saumâtre **	XC4	XS3	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XC4	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XC3	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	-	-	selon liquides concernés
Parties ou parois enterrées ou en contact avec le sol	XC2	XS1	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	-	-	selon analyse sol et eau
Parties ou parois à l'air libre, exposées aux intempéries	XC4	XS1	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois à l'air libre, protégées des intempéries	XC3	XS1	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois intérieures, protégées des intempéries et des condensations	XC1	-	-	-	-	-	-
Parties ou parois intérieures humides avec risque de condensations	XC3	-	-	-	-	-	selon risque de condensation
AUTRES OUVRAGES PARTICULIERS							
Regards et boîtes de branchement ou d'inspection coulés en place	XC4	XS1	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ***	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau
Caniveaux hydrauliques coulés en place	XC4	XS1	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ***	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau



Y compris Antilles et DOM-TOM.

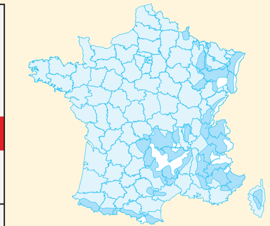
* Le salage est considéré comme "peu fréquent" lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, "très fréquent" lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et "fréquent" entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considérera alors la colonne "salage peu fréquent".

** Risque d'exposition à l'abrasion à considérer.

*** Pour ces ouvrages de durée d'utilisation de projet souvent inférieure à 50 ans on admet en France que la classe XD ne concerne que l'enrobage, les classes XF2 et XF4 couvrant les exigences liées au matériau dues à la présence des sels de déverglaçage.

Tableau 3 - Ouvrages de génie civil à l'intérieur des terres en zone de gel faible ou modéré

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD			XF			XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, MICRO-PIEUX, BARRETTES, PUITS, PAROIS MOULÉES, RADIERS) D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS									
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau salée ou saumâtre	XC1	XS2***	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau douce	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
**Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau salée ou saumâtre) ** **	XC4	XS3***	-	-	-	XF1	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
**Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau douce) ** **	XC4	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties enterrées ou faces en contact avec le sol	XC2	-	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	-	-	-	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types, parties aériennes	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
SUPERSTRUCTURES D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS									
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau salée ou saumâtre	XC1	XS2***	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau douce	XC1	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec d'autres liquides	XC1	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	-	-	-	selon liquides concernés
**Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau salée ou saumâtre ** **	XC4	XS3***	-	-	-	XF1	XF1	XF2	selon analyse de l'eau
**Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce ** **	XC4	-	-	-	-	XF1	XF1	XF1	selon analyse de l'eau
**Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides ** **	XC4	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XF1	XF1	XF1	selon liquides concernés
**Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau salée ou saumâtre ** **	XC4	XS3***	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
**Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce ** **	XC4	-	-	-	-	-	-	-	selon analyse de l'eau
**Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides ** **	XC3	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	-	-	-	selon liquides concernés
Parties ou parois enterrées ou en contact avec le sol	XC2	-	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	-	-	-	selon analyse sol et eau
Parties ou parois à l'air libre, exposées aux intempéries	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois à l'air libre, protégées des intempéries	XC3	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois intérieures, protégées des intempéries et des condensations	XC1	-	-	-	-	-	-	-	-
Parties ou parois intérieures humides avec risque de condensations	XC3	-	-	-	-	-	-	-	selon risque de condensation
AUTRES OUVRAGES PARTICULIERS									
Regards et boîtes de branchement ou d'inspection coulés en place	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF1, XF2 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau
Caniveaux hydrauliques coulés en place	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XF1	XF1, XF2 si très exposé aux sels	XF2, XF4 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau



Y compris Antilles et DOM-TOM.

*** Le salage est considéré comme "peu fréquent" lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, "très fréquent" lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et "fréquent" entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne "salage peu fréquent".**

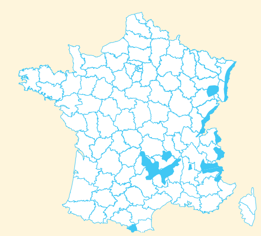
**** Risque d'exposition à l'abrasion à considérer**

***** Par analogie avec l'exposition à l'eau de mer, sous réserve d'une analyse plus détaillée de l'agressivité chimique et de la concentration en chlorures**

****** Pour ces ouvrages de durée d'utilisation de projet souvent inférieure à 50 ans on admet en France que la classe XD ne concerne que l'enrobage, les classes XF2 et XF4 couvrant les exigences liées au matériau dues à la présence des sels de déverglaçage.**

Tableau 4 - Ouvrages de génie civil à l'intérieur des terres en zone de gel sévère

PARTIES D'OUVRAGE	XC	XS	XD			XF			XA
			salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	salage peu fréquent*	salage fréquent*	salage très fréquent*	
FONDATIONS (PIEUX, MICRO-PIEUX, BARRETTES, PUITS, PAROIS MOULÉES, RADIERS) D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS									
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau salée ou saumâtre	XC1	XS2***	-	-	-	XF4	XF4	XF4	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau douce	XC1	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau saumâtre) **	XC4	XS3***	-	-	-	XF4	XF4	XF4	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau douce) **	XC4	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse de l'eau
Fondations de tous types, parties enterrées ou faces en contact avec le sol	XC2	-	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	XF3	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Fondations de tous types, parties aériennes	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF3	XF3, XF4 si très exposé aux sels	XF3, XF4 si très exposé aux sels	-
SUPERSTRUCTURES D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS									
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau salée ou saumâtre	XC1	XS2***	-	-	-	XF4	XF4	XF4	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau douce	XC1	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse de l'eau
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec d'autres liquides	XC1	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XF3	XF3	XF3	selon liquides concernés
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau salée ou saumâtre **	XC4	XS3***	-	-	-	XF4	XF4	XF4	selon analyse de l'eau
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XC4	-	-	-	-	XF3	XF3	XF3	selon analyse de l'eau
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XC4	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XF3	XF3	XF3	selon liquides concernés
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau salée ou saumâtre **	XC4	XS3***	-	-	-	XF4 sauf si hors gel	XF4 sauf si hors gel	XF4 sauf si hors gel	selon analyse de l'eau
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XC4	-	-	-	-	XF3 sauf si hors gel	XF3 sauf si hors gel	XF3 sauf si hors gel	selon analyse de l'eau
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XC3	-	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XD2 selon liquide concerné	XF3 sauf si hors gel	XF3 sauf si hors gel	XF3 sauf si hors gel	selon liquides concernés
Parties ou parois enterrées ou en contact avec le sol	XC2	-	-	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	pas d'exposition XD, XD2 si très exposé aux sels	XF3	XF3	XF3	selon analyse sol et eau
Parties ou parois à l'air libre, exposées aux intempéries	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF3	XF3, XF4 si très exposé aux sels	XF3, XF4 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois à l'air libre, protégées des intempéries	XC3	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XD1, XD3 si très exposé aux sels	XF3	XF3, XF4 si très exposé aux sels	XF3, XF4 si très exposé aux sels	-
Parties ou parois intérieures, protégées des intempéries et des condensations	XC1	-	-	-	-	XF1 sauf si hors gel	XF1 sauf si hors gel	XF1 sauf si hors gel	-
Parties ou parois intérieures humides avec risque de condensations	XC3	-	-	-	-	XF3 sauf si hors gel	XF3 sauf si hors gel	XF3 sauf si hors gel	selon risque de condensation
AUTRES OUVRAGES PARTICULIERS									
Regards et boîtes de branchement ou d'inspection coulés en place	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XF3	XF3, XF4 si très exposé aux sels	XF3, XF4 si très exposé aux sels	selon analyse sol et eau
Caniveaux hydrauliques coulés en place	XC4	-	-	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XD1, XD3 si très exposé aux sels ****	XF3	XF3, XF4 si très exposé aux sels	XF4	selon analyse sol et eau



Y compris Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) et Saint-Pierre-et-Miquelon.

* Le salage est considéré comme "peu fréquent" lorsque la moyenne annuelle du nombre de jours de salage estimée sur les 10 dernières années est inférieure à 10, "très fréquent" lorsqu'elle est supérieure ou égale à 30, et "fréquent" entre ces deux cas. En application de la norme NF EN 1992-2 et de son annexe nationale, les parties extérieures d'ouvrages situées à moins de 6 m (horizontalement ou verticalement) d'une chaussée salée sont réputées (très) exposées aux projections de sels de déverglaçage. Quelle que soit la fréquence de salage des routes et la zone géographique, certaines parties peuvent ne pas être exposées, on considèrera alors la colonne "salage peu fréquent".

** Risque d'exposition à l'abrasion à considérer.

*** Par analogie avec l'exposition à l'eau de mer, sous réserve d'une analyse plus détaillée de l'agressivité chimique et de la concentration en chlorures.

**** Pour ces ouvrages de durée d'utilisation de projet souvent inférieure à 50 ans on admet en France que la classe XD ne concerne que l'enrobage, les classes XF2 et XF4 couvrant les exigences liées au matériau dues à la présence des sels de déverglaçage.

Bien spécifier les classes d'exposition : quel enjeu ?

Les classes d'exposition constituent, en complément de la durée d'utilisation de projet ("design service life"), la clé d'entrée de la durabilité des ouvrages en béton telle que prise en compte dans les normes actuelles : Eurocode 2, norme béton, norme d'exécution des structures en béton. Leur spécification est de la responsabilité du maître d'ouvrage qui se trouve ainsi engagé dans l'expression des risques et des conditions d'exploitation de la structure qu'il commande. Qu'elle soit traitée de façon prescriptive ou au moins partiellement performantielle, la conception durable de l'ouvrage se trouve gouvernée par cette donnée d'entrée, afin de répondre à l'objectif consistant à s'assurer d'une durée probable de service contractualisée, sans réparation majeure, compte tenu des agressions et risques probables.

Si les classes d'exposition constituent depuis quelques années des concepts connus et mis en pratique parce que participant à la désignation du béton commandé et formulé en application de la norme NF EN 206-1, il est important de noter qu'elles sont aussi à utiliser :

- dès le stade du projet pour la détermination des enrobages (normes : NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-2 et leurs annexes nationales, section 4) ;
- dès le stade du projet pour la maîtrise de la fissuration (normes : NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-2 et leurs annexes nationales, section 7) ;
- et lors de la construction, pour préciser les spécifications d'exécution dont, par exemple, les classes de cure (norme : NF EN 13670).

Les visées spécifiques des différentes normes qui font référence à ces classes et la multiplicité des praticiens concernés par leur utilisation ont conduit à une nécessaire mise en commun des interprétations, de façon à aider à une spécification homogène et responsable des classes d'exposition, compte tenu des enjeux économiques liés à la durabilité des ouvrages concernés. Tel a été le travail du groupe de l'EFB animé par H. Thonier, s'appuyant pour les différents types d'ouvrages sur le travail des experts concernés. Si ces *Guides d'aide au choix des classes d'exposition* n'ont pas de statut officiel, ils constituent cependant une indication du consensus technique actuel cohérent avec les niveaux d'exigence prescriptifs et/ou performantiels actuellement associés à ces classes en lien avec les durées d'utilisation de projet de référence actuelles (100 ans pour les ouvrages d'art courants). Ils ont donc en quelque sorte valeur de règles de l'art.

De façon plus fondamentale, ces tableaux traduisent effectivement un état des connaissances et un retour d'expérience qu'un maître d'ouvrage ne peut plus ignorer :

- la prise en compte du risque de corrosion des armatures et parties métalliques des ouvrages par carbonatation du béton, qui concerne pratiquement toutes les structures à des degrés divers, la sévérité du risque étant associée à la fois à l'humidité environnante moyenne (pénétration du gaz carbonique maximale pour une humidité relative comprise entre 40 et 70 %), et à des apports d'eau liquide (intempéries, condensations), le retour d'expérience sur le patrimoine bâti confirmant les analyses et modèles issus de la recherche ;
- la prise en compte du risque de corrosion des armatures et parties métalliques des ouvrages par pénétration des ions chlore, d'origine marine ou non : la pénétration de ces ions est favorisée par les cycles d'humidification-séchage, ce qui explique le niveau maximal de prévention à adopter pour les zones de marnage, soumises aux projections d'embruns ou directement soumises aux projections contenant des sels de déverglaçage ;
- la prise en compte des risques d'attaque chimique du béton et d'attaque physique liée aux cycles de gel-dégel dont le nombre est amplifié par la concomitance des sels ;
- le cas échéant, la prise en compte du risque d'abrasion ;
- enfin, le risque accru induit par l'apport éventuel d'eau liquide (immersion, projections ou intempéries), ou d'humidité persistante, dans le cadre de la prévention des désordres dus aux réactions de gonflement du béton et notamment à la Réaction Sulfatique Interne.

Si un effort reste nécessaire pour chacun avant d'atteindre l'aisance parfaite dans l'emploi de ces classes, on peut néanmoins affirmer que la cohérence désormais réelle entre l'ensemble des normes françaises et européennes sur le sujet constitue un atout pour exprimer de façon plus rationnelle l'ambition de durabilité d'un ouvrage et ses contraintes, et pour y répondre en mobilisant le meilleur des pratiques et possibilités en jouant tant sur le matériau béton que sur les dispositions d'enrobage et de ferraillage, la conception d'ensemble et de détail, les dispositifs de protection et la qualité de réalisation.

Dans tous les cas, l'enjeu est de favoriser de façon ouverte l'assurance de la qualité associée aux dispositions classiques liées à la durabilité, et aussi, en particulier dans les environnements sévères, l'émergence de variantes appropriées pour atteindre l'objectif de durabilité. ■

François Toutlemonde, IFSTTAR

Un groupe de travail a été créé au sein de l'École Française du Béton afin de rédiger des guides destinés à faciliter le choix des classes d'exposition pour différentes catégories d'ouvrages ou de constructions.

Ce Groupe, piloté par Henry Thonier (EGF-BTP), est constitué de membres représentant l'Administration (IFSTTAR CETMEF, CETU), les bureaux de contrôle (SOCOTEC, APAVE), les fédérations professionnelles (FFB, FNTP, EGF-BTP, UMGO), les entreprises (Eiffage, Bouygues), les organismes techniques professionnels (CERIB, Cimbéton, SNBPE).
La rédaction a été principalement assurée par Laetitia d'Aloïa (CETU), Patrick Dantec (LRPC-Clermont), Mokhtar Daoudi (APAVE), Philippe Francisco (CERIB), Patrick Guiraud (Cimbéton), Michel Menguy (LRPC-Saint-Brieuc), Wilfried Pillard (UMGO), Jean-Marc Potier (SNBPE), François Toutlemonde (IFSTTAR).

Prévention de la Réaction Sulfatique Interne (RSI)

Le tableau ci-dessous complète l'aide au choix des classes d'exposition. Il est associé à la prévention de la Réaction Sulfatique Interne, en application du guide technique "Recommandations pour la prévention des désordres dus à la Réaction Sulfatique Interne" publié par le LCPC en août 2007.

Ce guide précise en effet : "la norme NF EN 206-1 ne définissant pas de classe d'exposition adaptée à la réaction sulfatique interne, trois classes complémentaires XH1, XH2 et XH3 sont introduites et doivent êtres spécifiées au CCTP pour chaque partie d'ouvrage. Les spécifications définies dans ce guide doivent être prises en compte en complément de celles imposées par la norme NF EN 206-1."

Par analogie avec la démarche de prévention de l'alcali-réaction, le niveau de prévention, et donc les précautions à mettre en œuvre, est associé non seulement à la classe d'exposition XH1, XH2 ou XH3, mais également au choix d'une catégorie d'ouvrage ou d'élément d'ouvrage, I, II ou III, qui relève de la responsabilité du maître d'ouvrage et dépend "de la nature de l'ouvrage, de sa destination, des conséquences des désordres sur la sécurité souhaitée, et de son entretien ultérieur". La catégorie II comprend "les éléments porteurs de la plupart des bâtiments et les ouvrages de génie civil (dont les ponts courants)" et la catégorie III "les barrages, les tunnels, et les bâtiments réacteurs des centrales nucléaires et aéroréfrigérants", tandis que la catégorie I comprend "les éléments aisément remplaçables". Le tableau 5 ci-après intègre cette notion pour aider au choix du niveau de prévention.

François Toutlemonde, IFSTTAR

Tableau 5 - Prévention de la réaction sulfatique interne

Tous ouvrages de génie civil indépendamment de leur situation géographique

PARTIES D'OUVRAGE	XH (PRÉVENTION RSI)	NIVEAU DE PRÉVENTION RSI	
		Ouvrage courant (de catégorie II)	Ouvrage exceptionnel (de catégorie III)
FONDATIONS (PIEUX, MICRO-PIEUX, BARRETTES, PUITS, PAROIS MOULÉES, RADIERS) D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS			
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau salée, eau de mer ou eau saumâtre	XH3	Cs	Ds
Fondations de tous types, parties entièrement immergées en eau douce	XH3	Cs	Ds
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau salée, eau de mer ou eau saumâtre) **	XH3	Cs	Ds
Fondations de tous types, parties en zone de marnage (eau douce) **	XH3	Cs	Ds
Fondations de tous types, parties enterrées ou faces en contact avec le sol	XH3	Cs	Ds
Fondations de tous types, parties aériennes	XH2	Bs	Cs
SUPERSTRUCTURES D'OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL, DE MURS ET D'OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, D'OUVRAGES HYDRAULIQUES, DE PRODUCTION D'ÉNERGIE, DE SILOS ET DE RÉSERVOIRS			
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau salée, eau de mer ou saumâtre	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec de l'eau douce	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois immergées ou en contact durable avec d'autres liquides	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau salée, eau de mer ou eau saumâtre **	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois extérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau salée, eau de mer ou eau saumâtre **	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'eau douce **	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois intérieures en contact variable ou exposées à des écoulements d'autres liquides **	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois enterrées ou en contact avec le sol	XH3	Cs	Ds
Parties ou parois à l'air libre, exposées aux intempéries	XH2	Bs	Cs
Parties ou parois à l'air libre, protégées des intempéries	XH1	As	
Parties ou parois intérieures, protégées des intempéries et des condensations	XH1	As	
Parties ou parois intérieures humides avec risque de condensations	XH2	Bs	Cs
AUTRES OUVRAGES PARTICULIERS			
Regards et boîtes de branchement ou d'inspection coulés en place	XH2	As	As
Caniveaux hydrauliques coulés en place	XH3	As	As

** Risque d'exposition à l'abrasion à considérer.